

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт  
з дисципліни

# **"ТЕОРІЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ"**

*(для студентів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2015**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Теорія та розрахунок електрообладнання рухомого складу (для студентів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. В. Донець. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 48 с.

Укладач: О. В. Донець

Рецензент: доц. В. П. Андрійченко

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 2 від 12 жовтня 2010 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні положення про виконання лабораторних робіт.....	6
2 Правила техніки безпеки та протипожежні заходи.....	7
3 Структура електроприводу лабораторного стенду.....	9
3.1 Опис електричної схеми стенду.....	10
Лабораторна робота № 1 .....	13
Лабораторна робота № 2.....	17
Лабораторна робота № 3.....	29
Лабораторна робота № 4.....	34
Лабораторна робота № 5.....	41
Список літератури.....	47

## ВСТУП

В даний час частотно-регульовані асинхронні електроприводи потужністю від одиниць до сотень кіловат досить широко застосовуються в різних галузях виробництва, житлового комунального господарства та на електричному транспорті. Сучасний етап розвитку даного виду техніки характеризується підвищенням техніко-економічних показників перетворювачів частоти за рахунок використання нових напівпровідникових приладів – запираючих GTO-тиристорів і силових IGBT-транзисторів, мікропроцесорних систем керування, прогресивних конструкторських і схемотехнічних рішень. Створюються також спеціальні асинхронні двигуни, призначені для роботи в режимі регулювання швидкості від перетворювачів частоти. Ведучі закордонні електротехнічні фірми вже освоїли виробництво транзисторних і тиристорних перетворювачів частоти для електроприводу.

Основою таких перетворювачів є, як правило, трифазні автономні інвертори напруги з різного роду широтно-імпульсним керуванням.

Розробка проводиться за наступними напрямками:

- розробка GTO-тиристорів і швидковідновлюючих діодів;
- розробка IGBT-транзисторів у виді модулів;
- розробка спеціальних малоіндуктивних конденсаторів для захисту інверторів;
- розробка спеціальних фільтрових конденсаторів великої одиничної місткості для вхідних ланцюгів інверторів;
- розробка нових рішень схемотехніки в частині силової схеми і системи керування перетворювача;
- розробка оптимальних алгоритмів керування і регулювання перетворювача і електроприводу;
- розробка мікропроцесорних систем керування і їх програмного забезпечення.

Створювані на базі вищеперелічених елементів і технічних рішень перетворювачі частоти і електроприводи повинні відрізнятися від перетворювачів частоти і електроприводів, що нині випускаються, більш високими ККД, коефіцієнтом потужності, кращими масо-габаритними показниками, регульовальними характеристиками, підвищеною надійністю.

Для підготовки кваліфікованих спеціалістів із спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» необхідно мати сучасні лабораторні стенди частотно-регульованих асинхронних електроприводів з інверторами напруги та тиристорних електроприводів. Це дозволить студентам при проведенні лабораторних та науково-дослідних робіт поглибити свої знання з силових перетворювачів, навчитися налагоджувати та досліджувати їх, аналізувати одержані результати в виді осцилограм, робити відповідні висновки.

При проведенні лабораторних робіт необхідно опиратися на загальні положення про їх виконання.

## **1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Викладачі, що проводять заняття, розподіляють студентів на бригади, по 4-5 чоловік та призначають в кожній бригаді одного студента старшим.

Перед проведенням лабораторних робіт викладачі проводять перевірку теоретичних знань студентів з теми лабораторної роботи, яку бригада буде виконувати. Студенти повинні вдома готуватися до лабораторної роботи, уявити мету та завдання її проведення, ознайомитись з літературою. Якщо студенти прийшли на заняття не підготовленими або не склали звіт про попередню роботу, то до виконання наступної роботи не допускаються.

Тривалість проведення однієї лабораторної роботи – 2-4 години.

Після виконання лабораторної роботи викладач перевіряє результати експериментів та робить відмітку в своєму журналі про виконання роботи, а студенти оформляють звіт.

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- найменування та мету роботи;
- найменування лабораторного стенду, на якому проводилась робота;
- схеми лабораторного стенду або його складових, які вивчались та досліджувались;
- опис лабораторного стенду або його складових, які вивчались та досліджувались;
- опис режимів роботи стенду та його складових;
- осцилограми з параметрами досліджень;
- висновки.

## **2 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ**

Перед виконанням лабораторних робіт для групи студентів проводиться інструктаж з правил техніки безпеки та протипожежних заходів, після чого робляться відповідні записи в журналі з техніки безпеки та протипожежних заходів і студенти розписуються в ньому.

Перед проведенням кожної роботи викладачі нагадують студентам про необхідність виконання правил техніки безпеки та протипожежних заходів, а також проводять додатково інструктаж на робочому місці, під час якого звертають увагу на особливості охорони праці при виконанні конкретної лабораторної роботи.

Студенти повинні засвоїти порядок подачі напруги на стенд, місця розташування силового електрообладнання, апаратури захисту та сигналізації.

Подавати напругу на стенд та проводити роботу можна тільки з дозволу викладача.

Дії студентів однієї бригади повинні бути строго узгоджені.

Дозволяється включати електрообладнання тільки на одному лабораторному стенді.

Перед подачею напруги на стенд необхідно переконатися, що всі органи керування вимкнуті або знаходяться в нульовому положенні.

При виконанні лабораторних робіт не дозволяється працювати на несправному обладнанні або використовувати несправні прилади та інструмент.

Забороняється залишати увімкненим електричне обладнання стенду навіть на короткий час та проводити будь-які роботи під час встановлених перерв.

При проведенні діагностики лабораторного стенду з увімкненими джерелами живлення необхідно дотримуватись запобіжних заходів.

У приміщенні лабораторії категорично забороняється використовувати відкритий вогонь та курити. У разі виникнення пожежі необхідно загасити

вогонь за допомогою вогнегасника, що знаходиться у лабораторії. При загорянні елементів стенду, які знаходяться під напругою, потрібно спочатку вимкнути живлення, а потім гасити вогонь.

Місцеве живлення лабораторних стендів вимикається на кожному стенді автоматичними вимикачами, розетки та загальне живлення лабораторних стендів – автоматичними вимикачами, які розташовані на розподільному пристрої при вході в лабораторію.



### 3 СТРУКТУРА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Структурна схема електроприводу універсального лабораторного стенду наведена на рисунку 3.1.

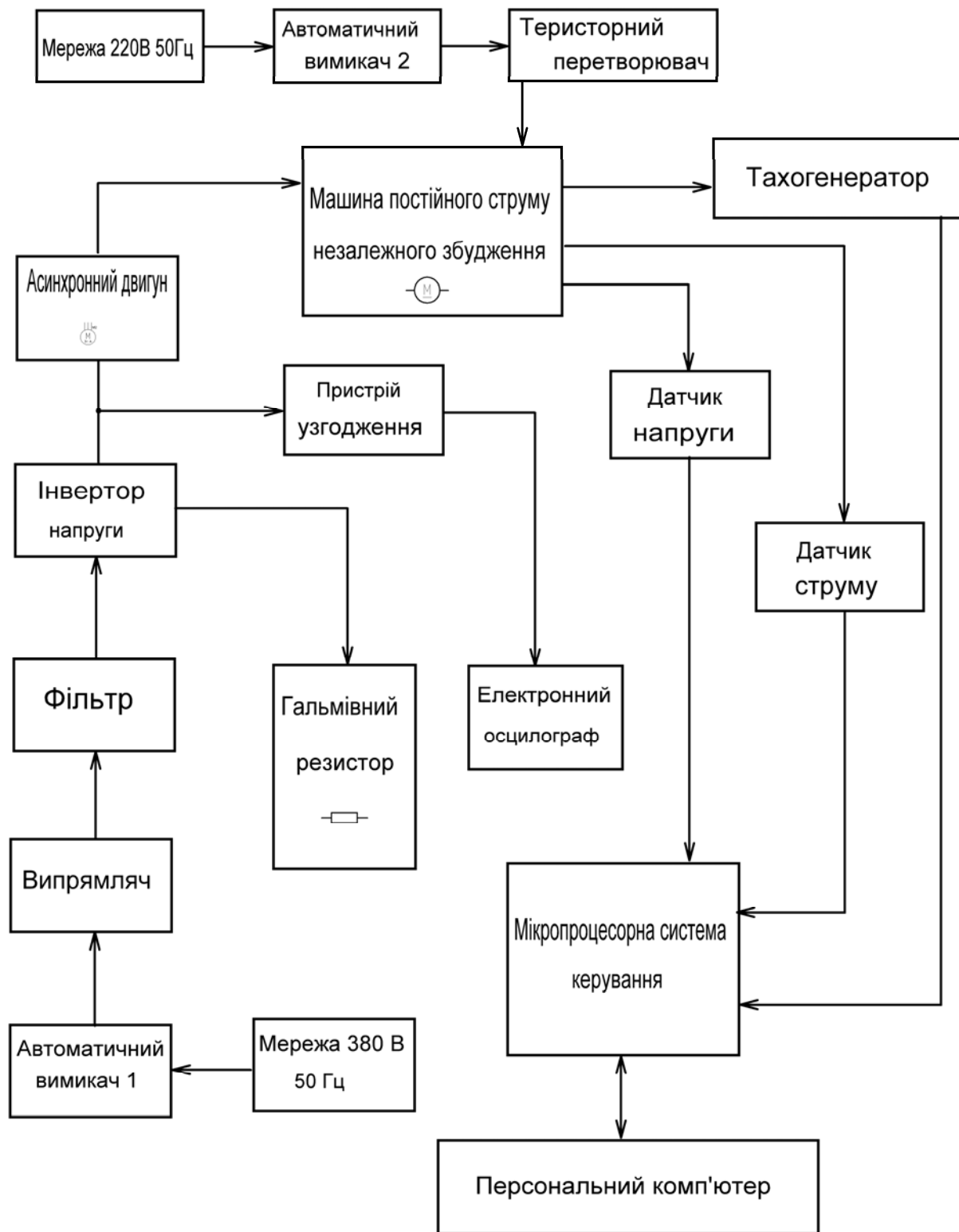


Рисунок 3.1 – Структурна схема електроприводу стенду

При виборі структури стенду враховувалось ряд вимог. Одна з основних – стенд повинен бути універсальним. Він повинен дозволяти проводити дослідження і лабораторні роботи, натурне моделювання перехідних процесів в електроприводі, яке можна спостерігати електронним осцилографом та на моніторі ПК, змінювати параметри мікропроцесорної системи керування та досліджувати роботу перетворювача частоти, копіювати осцилограми з екрана монітора та вставляти їх в звіт.

До складу стенду входить: перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, навантажувальна машина, тиристорний перетворювач, мікропроцесорна система керування, гальмівний резистор, електронний осцилограф з пристроєм узгодження, датчики напруги, струму та частоти обертів, а також персональний комп'ютер з інформаційно-керуючою системою.

Така структура стенду дозволяє проводити дослідження частотно-регульованого асинхронного електроприводу в режимах пуску, розгону та гальмування і моделювати перехідні процеси в силових ланцюгах.

### **3.1 Опис електричної схеми стенду**

На рисунку 3.1 зображена електрична схема електроприводу стенду, яка розроблена на основі вищеобраної структури електроприводу.

Перетворювач частоти виконано з ланцюгом постійного струму. Він складається з випрямляча, фільтра та інвертора напруги. Випрямляч виконано напівкерованим, інвертор напруги – на IGBT- транзисторах. Живлення випрямляча забезпечується від мережі живлення 380В 50Гц через автоматичний вимикач. На вихід інвертора напруги підключено асинхронний двигун (АД). В якості навантажувальної машини використовується машина постійного струму незалежного збудження. Машина постійного струму живиться від мережі живлення 220В 50Гц через автоматичний вимикач та тиристорний перетворювач.

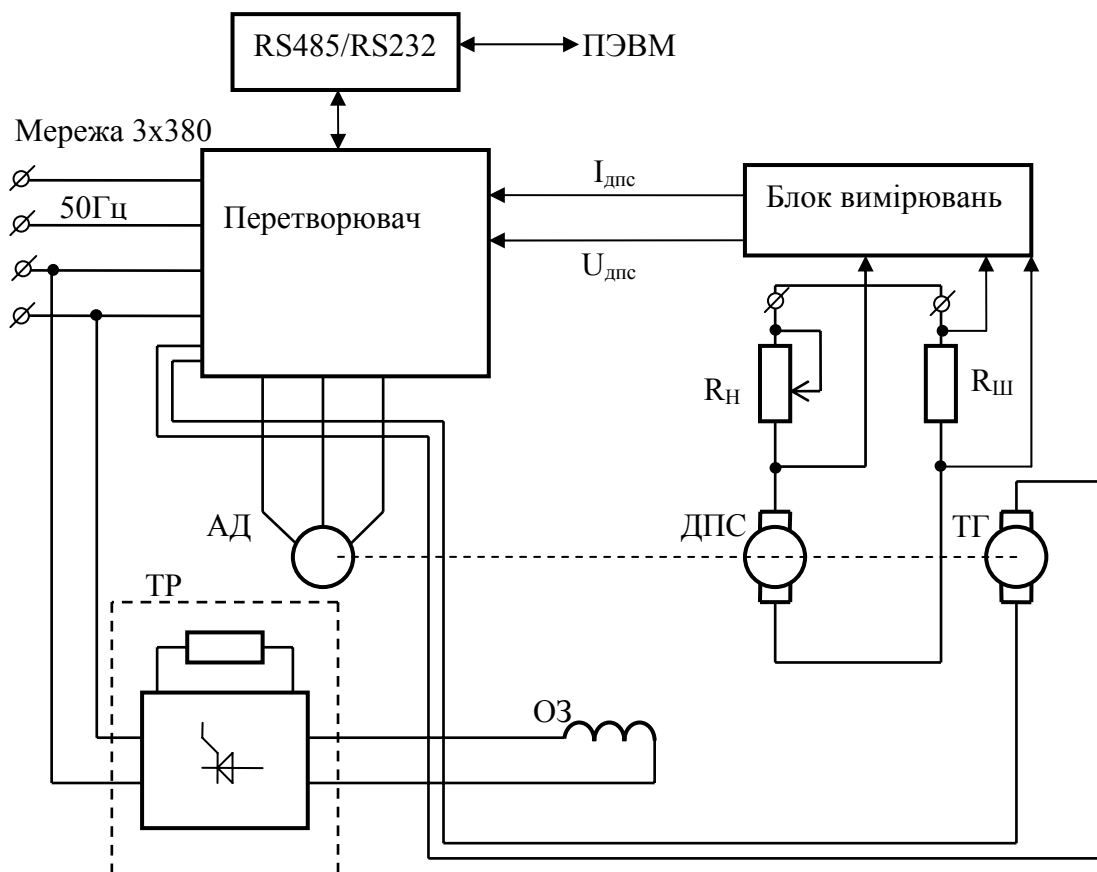


Рисунок 3.1 – Електрична схема електроприводу стенду

Для виміру частоти обертання АД використовується тахогенератор. Датчики напруги, струму та тахогенератор підключені до мікропроцесорної системи керування, яка виконана на базі мікроконтролера TMS320. Вона має зв'язок з інформаційно-керуючою системою, встановленою на персональному комп'ютері, через послідовний канал зв'язку RS485.

Інформаційно-керуюча система дозволяє змінювати параметри регулятора, задавати час протікання досліду, змінювати закони керування, задавати режими роботи тощо. В стенді встановлено також пристрій узгодження для підключення електронного осцилографа. Це дозволяє спостерігати процеси в силовій схемі електроприводу.

Для забезпечення режиму гальмування використовується гальмівний резистор.

Вибір електричних машин зроблено з оглядом на те, щоб зменшити енергоспоживання стендом.

Згідно з структурою досліджу вального електропривода лабораторні роботи виконуються на двох стендах загальний вигляд яких наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд стендів для дослідження електрообладнання рухомого складу

Особливістю стендів є можливість змінювати режими роботи та параметри регулятора за допомогою інформаційно-керуючої системи, встановленої на персональному комп'ютері.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПО ОБЕРТАМ**

**МЕТА РОБОТИ:** отримати практичні навички та засвоїти принцип дії системи програмного керування.

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ:** універсальний стенд для дослідження асинхронного електроприводу з мікропроцесорною системою керування.

### **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЦИПІВ КЕРУВАННЯ ТА СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ**

Побудова автоматичних систем керування базується на ряді загальних принципів керування, основні з яких: принцип керування по відхиленню, принцип керування по збуренню, принцип комбінованого керування та принцип адаптації.

Принцип автоматичного керування визначає, як і на основі якої інформації формувати сигнал керування в системі. Одна з основних ознак, що характеризує принцип керування, є необхідна для формування керуючого сигналу робоча інформація. Вибір принципу побудови автоматичної системи залежить від її призначення.

Розглянемо принцип керування по збуренню. Системи керування, побудовані на цьому принципі, не мають зворотного зв'язку. Системи керування без зворотного зв'язку можна поділити на дві групи: системи компенсації та системи програмного керування.

В системі компенсації сигнал керування формується в загальному вигляді в функції сигналів завдання та збурення.

В системах програмного керування сигнал керування формується в функції сигналу завдання по заданому алгоритму на основі програми. Такі системи керування розповсюджені, наприклад, для керування рухом ліфтів і прокатних станів, в станках з програмним керуванням.

В інформаційно-керуючій системі передбачена робота системи керування універсального стенду без зворотного зв'язку по обертам асинхронного електродвигуна (режим програмного керування). Для цього в області керування регулятором не повинно бути заактивовано вікно «Замкнутый контур». Завдання керування формується в області завдання швидкості електроприводу (рис. 3.3).

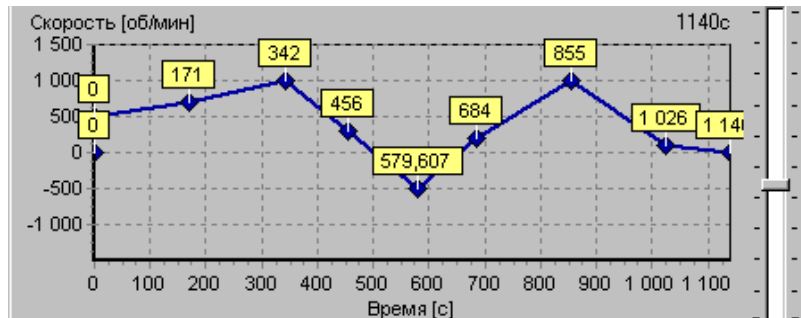


Рисунок 3.3 – Графік зміни швидкості в часі

Графік зміни швидкості дозволяє поточно задати траєкторію зміни швидкості електроприводу в часі. Загальний час розгону і гальмування електроприводу в секундах задається у вигляді повзункового регулятора, розташованого праворуч від графіка зміни швидкості. Швидкість може змінюватися в діапазоні від -1500 до +1500 об/хв. Знак визначає напрям обертання ротора електродвигуна електроприводу. Негативні значення відповідають обертанню ротора проти годинникової стрілки. При редагуванні графіка зміни швидкості автоматично відображаються поточні значення ключових точок траєкторії.

Слід зазначити, що під час роботи регулятора в активному режимі (керування швидкістю електроприводу) неможлива зміна графіка швидкості керування.

## ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Включити автоматичний вимикач 1. Переконавшись, що 3-фазна напруга 380В 50 Гц подана на універсальний стенд і мікропроцесорна система керування працює (на корпусі перетворювача частоти світиться світлодіод зеленим кольором).
2. Включити ПК. Заактивувати програму ІКС.
3. На основному вікні ІКС за допомогою маніпулятора «миша» натиснути на кнопку «Підключить». При цьому ІКС підключиться до мікропроцесорної системи керування стенду.
4. За допомогою маніпулятора «миша» заактивувати вікно «Автозапуск».
5. Повзунковим регулятором виставити час проведення досліду – 40 с.
6. За вказівкою викладача виставити за допомогою маніпулятора «миша» необхідний графік розгону, реверсу та зупинки електроприводу.
7. В першій області відображення сигналів виставити сигнали:  $U_d$  та  $I_d$ .
8. В другій області відображення сигналів виставити сигнал  $F_{pc}$  та  $P_d$ .
9. В третій області відображення сигналів виставити сигнал:  $F_{zn}$  та  $F_{tg}$ .
10. За допомогою маніпулятора «миша» натиснути кнопку «Старт».
11. Для зупинки електроприводу натисніть кнопку «Стоп».
12. Після зупинки електроприводу в області відображення сигналів з'являться три графіки, які потрібно привести в звіт.
13. Повторити дослід при більш пологому графіку розгону, реверсу та зупинки електроприводу. Одержані графіки привести в звіт.
14. Повторити дослід при часі процесу регулювання – 20 с. Одержані графіки привести в звіт.

## ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити назву лабораторної роботи, мету роботи, місце проведення роботи, короткі загальні положення, характеристики розгону, реверсу та зупинки електроприводу при заданих умовах, висновки.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Перечислити загальні принципи керування.
2. Що визначає принцип автоматичного керування?
3. Чим характеризується принцип керування по збуренню?
4. Як формується сигнал керування в системі компенсації?
5. Як формується сигнал керування в системах програмного керування?
6. Де використовуються системи програмного керування?
7. Яке вікно в інформаційно-керуючій системі не повинно бути заактивовано, щоб система керування універсального стенду працювала без зворотного зв'язку по обертам асинхронного електродвигуна (в режимі програмного керування)?
8. Яким чином можна забезпечити режим реверсу електроприводу за допомогою інформаційно-керуючої системи?
9. Чи можлива зміна графіка швидкості керування під час роботи регулятора в активному режимі ?



## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗА СИСТЕМОЮ «НЕРЕВЕРСИВНИЙ ТИРИСТОРНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ-ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»**

**МЕТА РОБОТИ:** засвоїти принцип дії схеми керування та методи перевірки електромеханічних характеристик електроприводу за системою «Нереверсивний тиристорний випрямляч-двигун постійного струму».

### **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Функціональну схему електроприводу приведено на рисунку 3.4. В її основу встановлений однофазний нереверсивний пристрій управління серії БУ 3509. Він призначений для живлення якірних кіл двигунів постійного струму потужністю до 11кВт, що використовуються в системах автоматизованого електроприводу металоріжучих верстатів і інших технологічних механізмів.

Пристрій управління складається з силової частини і системи управління і є конструкцією відкритого виконання з одностороннім обслуговуванням. Елементи силової частини змонтовані на вертикальній панелі, а елементи системи управління розміщені на поворотній передній платі з печатним монтажем. Для зручності наладки і перевірки роботи системи управління на платі передбачені контрольні виводи для індикації стану окремих вузлів. Плата управління з'єднується з елементами силової частини гнучким джгутом за допомогою роз'ємного з'єднання Ш2.

Живлення пристрою керування здійснюється через контакти 1, 2 клемної колодки Ш1 від мережі 380В частотою 50Гц. Допустимі відхилення параметрів мережі по напрузі –  $\pm 10\%$ , по частоті –  $\pm 2\%$ . Автоматичний вимикач QF1, магнітний пускач KM1 і кнопки SB1, SB2 забезпечують можливість дистанційного керування подачею напруги.

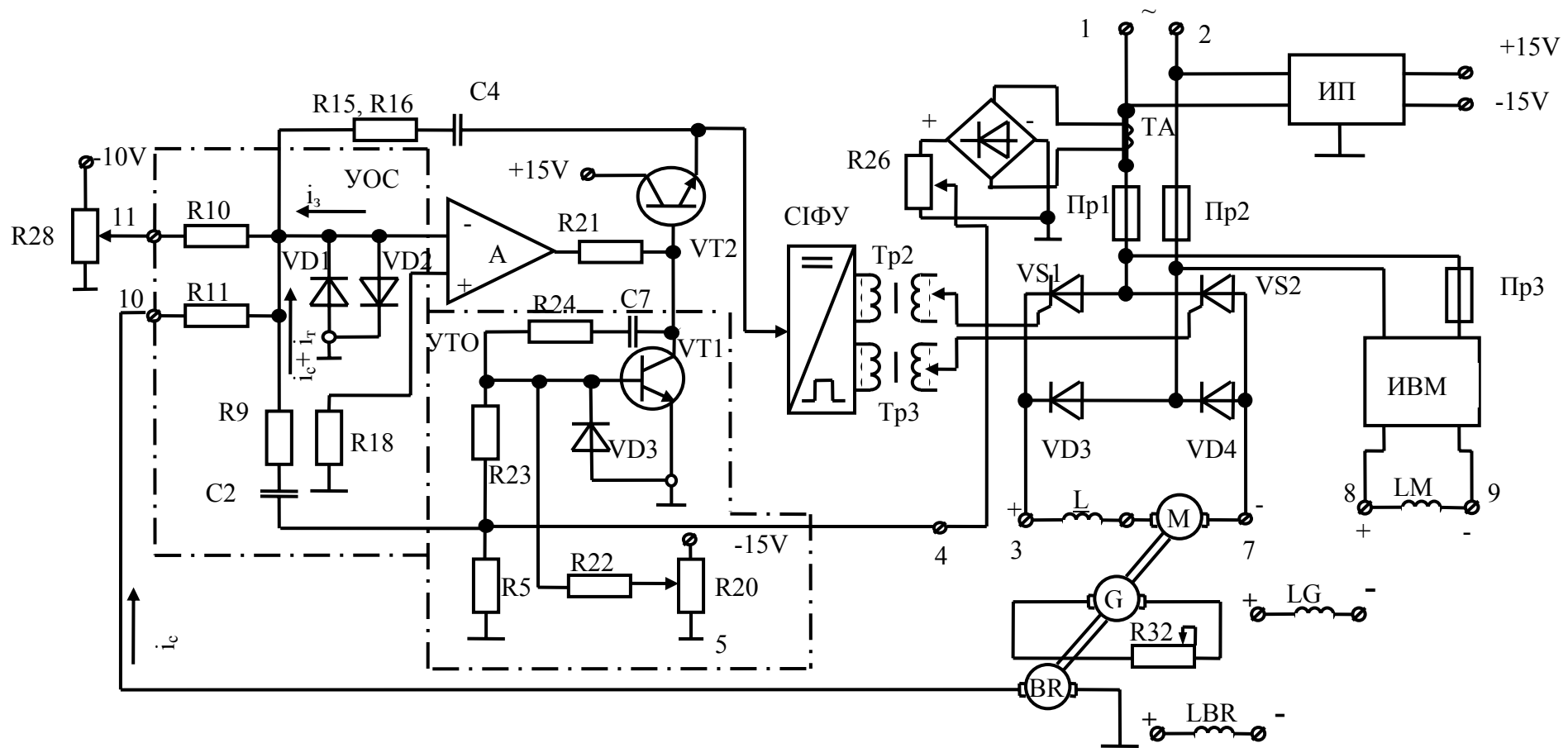


Рисунок 3.4 – Функціональна схема установки

В силовій частині пристрою як керований перетворювач використовується випрямляч, зібраний за однофазною мостовою схемою на тиристорах VS1, VS2 і діодах VD3, VD4. До виходу перетворювача (контакти 3, 7 Ш1) підключений якір двигуна M1. В якірне коло двигуна M1 включений дросель L, обмежуючий пульсації якірного струму. Запобіжники Пр1, Пр2 забезпечують захист тиристорів і діодів від коротких замикань, а RC – кола C3,R3; C2,R2; C6,R4; C7,R5 – від мережних і комутаційних перенапружень. Запобіжник Пр3 захищає від коротких замикань джерело напруги для обмотки збудження LM1 двигуна, який виконано на діодах VD27÷VD29 і тиристорі VS13 і розташовано на платі системи управління. Підключення LM1 до напруги джерела здійснюється через контакти 8, 9 Ш1.

Систему управління побудовано за замкнутим принципом. Вона складається (рис. 3.4) з астатичного інтегро-пропорційного регулятора швидкості А, головного зворотного зв'язку за швидкістю і гнучкого зворотного зв'язку за струмом якоря, з'єднаних у вузол зворотних зв'язків (ВЗЗ), вузла струмообмеження (ВСО), системи імпульсно-фазового управління (СІФУ), джерела живлення (ДЖ) і джерела живлення для обмотки збудження машини (ДЖМ).

Регулятор швидкості А виконано на операційному підсилювачі. На інверсному вході підсилювача здійснюється алгебраїчне підсумовування струму завдання  $i_z$  і струмів зворотних зв'язків за швидкістю  $i_c$  і струму якоря  $i_m$ . Вихід регулятора А є сполучений з входом СІФУ через емітерний повторювач на VT2, що підвищує навантажувальну здібність регулятора. Для отримання астатичного закону регулювання швидкості регулятор охоплений зворотним активно-ємнісним зв'язком, виконаним за допомогою резисторів R15, R16 і ємності C4.

Величина струму завдання регулюється за допомогою задаючого потенціометра R28, що підключається до контактів 11, 12, 5 Ш1. Контакт 5 – є загальною точкою схеми.

Як датчик швидкості використовується тахогенератор BR. Оскільки з R28 знімається негативна напруга, то тахогенератор підключений до БУ 3509 таким чином, що до контакту 10 Ш1 прикладається позитивна, а до контакту 5 Ш1 – негативна напруга.

Датчик струму складається з трансформатора струму ТА, випрямляча на діодах VD1÷VD4 і резистора R26. При збільшенні якірного струму двигуна збільшується і струм, споживаний перетворювачем з мережі. Тому напруга, що знімається з R26, буде пропорційна якірному струму М. Як і датчик швидкості, датчик струму підключений до БУ 3509 так, щоб до контакту 4 Ш1 прикладалася позитивна, а до контакту 5 Ш1 – негативна напруга.

У вузол зворотних зв'язків напруга з датчика струму прикладається через конденсатор C2 і резистор R9. Тому сигнал зворотного зв'язку за струмом  $i_m$  поступатиме в УОС тільки в перехідних режимах, коли змінюється струм якоря М і конденсатор C2 перезаряджається.

Вузол струмообмеження грає роль затриманого зворотного зв'язку за струмом двигуна. Він виконаний на транзисторі VT1, який включений паралельно виходу регулятора швидкості. В початковому стані VT1 є закритий негативною напругою, що знімається з резистора R20. Величина цієї напруги визначає значення струму уставки.

На базу VT1 через резистор R23 подається позитивна напруга з виходу датчика струму. При збільшенні струму якоря М збільшується і напруга, що знімається з R26. Коли струм якоря М перевищить струм уставки, позитивна напруга датчика струму перевищить негативне, що знімається з R20, транзистор VT1 відкриється і зашунтує вихід регулятора швидкості.

Регулювання величини ЕРС перетворювача  $E_n$  здійснюється за допомогою СІФУ. До складу СІФУ входять: генератор пилкоподібної напруги, синхронізуючий пристрій, нуль-орган, розподільник і підсилювач імпульсів. Діаграми напруг, пояснюючі роботу СІФУ на рисунку 3.5.

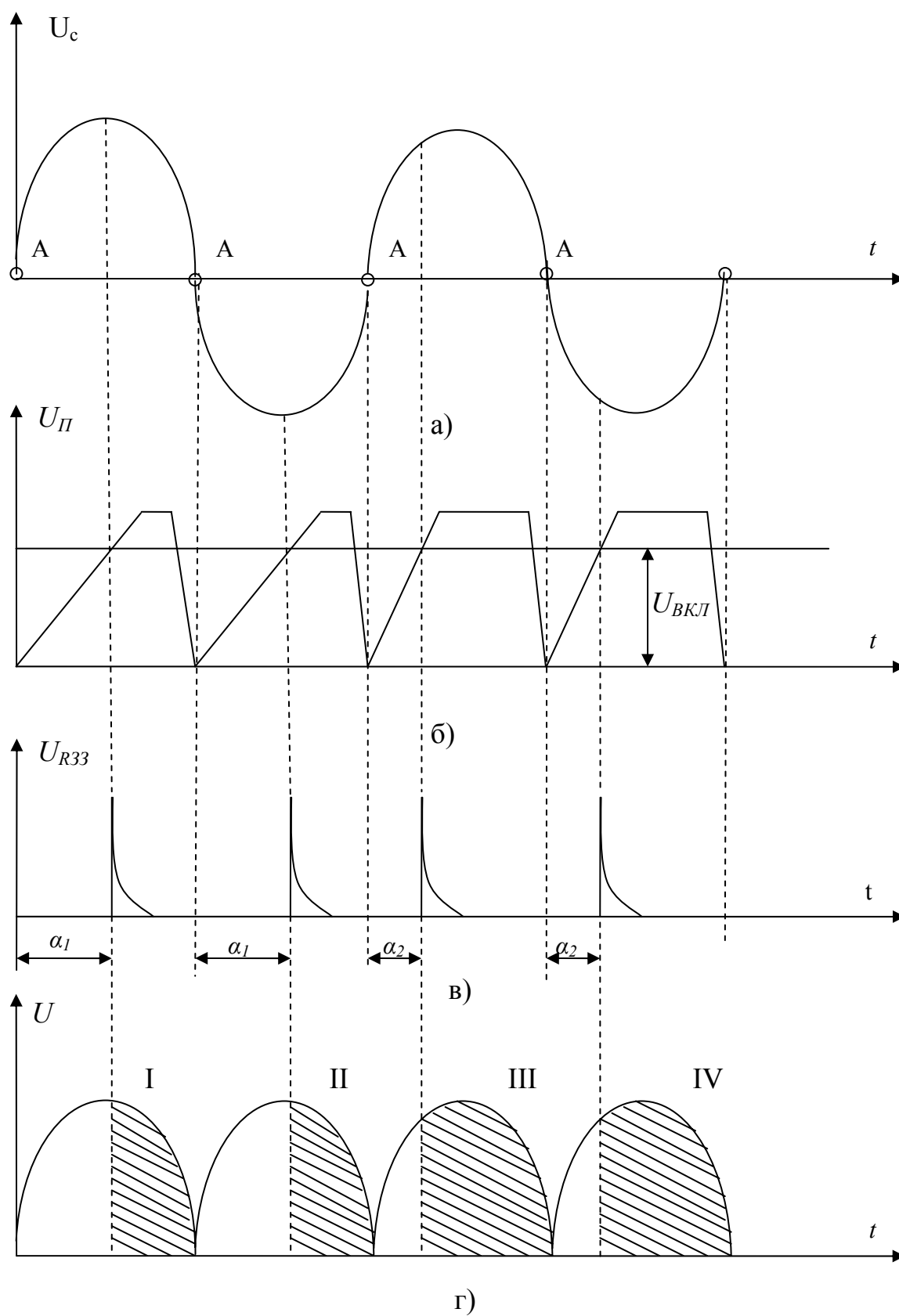


Рисунок 3.5 – а) вхідна напруга перетворювача;  
 б) пилкообразна напруга генератора;  
 в) керуючі імпульси тиристорів;  
 г) випрямлена напруга перетворювача

На рисунку 3.5,а приведено синусоїду напруги  $U_c$ , що поступає на перетворювач силової частини БУ 3509. Верхні напівперіоди синусоїди є провідними для VS1 і VD4, а нижні – для VS2 і VD3. В обох випадках струм протікає від катодів VS1, VD3 через дросель L і якір M до анодів VS2, VD4. Тому контакт 3 Ш1 позначений як «+Вихід силовий», а контакт 7 Ш1 – як «-Вихід силовий». Напруга між цими контактами є випрямленою напругою перетворювача  $U$ . Регулювання її величини здійснюється за рахунок зміни положення за фазою управляючих імпульсів для VS1, VS2 щодо точок природної комутації тиристорів. На рисунку 3.5а ці точки позначені буквою А. Кількісно положення управляючих імпульсів характеризується величиною кута управління  $\alpha$ .

На рисунку 3.5,б зображена пилкоподібна напруга  $U_n$ , що виробляється генератором, зібраним на транзисторі VT3 і конденсаторі C10. Конденсатор C10 заряджає до напруги джерела на стабілітронах VD10, VD11 струмом, що протікає через перехід база-колектор VT3. Час заряду C10 залежить від величини струму заряду, який, у свою чергу, визначається величиною сигналу управління на виході регулятора швидкості. Цей сигнал прикладається до переходу база-емітер VT3. При його збільшенні струм заряду C12 також збільшується, а час заряду – зменшується.

Збіг у часі (синхронізацію) напівперіодів живлячої напруги з пилкоподібною напругою забезпечує синхронізуючий пристрій, виконаний на транзисторі VT4 і трансформаторі Tr1.

Вивід 022 вторинної обмотки H2-K2 Tr1 сполучений з емітером, а виводи 021 і 023 – з базою VT4. Напруги на виводах 021, 023 по відношенню до виводу 022 знаходяться у протифазі. Негативні напівперіоди цих напруг через діоди VD13, VD14 прикладаються до бази VT4 і закривають його. Проте, у момент переходу напруги мережі через нуль замикаюча напруга на базі VT4 також рівна нулю. Тому VT4 в кінці кожного напівперіоду відкривається позитивною напругою з дільника R30, R31 і розряджає C10.

Як нуль-орган або пороговий елемент в СІФУ використовується одноперехідний транзистор (двохбазовий діод) VT5. В загальному випадку на вході нуль-органу порівнюються два сигнали. При рівності цих сигналів за величиною з'являється сигнал на виході нуль-органу.

До бази 2 (Б2) VT5 через резистор R32 від джерела на стабілітронах VD7, VD10, VD11 прикладається напруга в 20В, яке і визначає величину однієї з вхідних напруг нуль-органу – напруга включення  $U_{\text{вкл}}$  VT5. Другою вхідною напругою нуль-органу є пилкоподібна напруга з C10, що прикладається до емітера VT5. До тих пір, поки пилкоподібна напруга менше напруги включення, VT5 є закритий. У момент досягнення пилкоподібною напругою величини напруги включення VT5 відкривається і через перехід емітер-база 1 VT5 і резистор R33 починає протікати струм. Одночасно з цим заряджає конденсатор C12. Напруга на ньому підсумовується з напругою включення VT5, рівність величин порівнюваних напруг порушується і VT5 закривається. На резисторі R33 формується імпульс (рис. 3.5,в), який і є імпульсом управління для VS1, VS2. Як і C10, конденсатор C12 розряджається через VT4 в кінці кожного напівперіоду живлячої напруги.

На тиристор, для якого даний напівперіод живлячої напруги є провідним (до анода тиристора прикладається позитивний потенціал), управляючий імпульс подається за допомогою розподільника імпульсів, виконаного на транзисторах VT6, VT7. Тому буде відкритий той з транзисторів, до бази якого прикладається позитивний потенціал. Через перехід емітер-колектор цього транзистора імпульс управління з R33 поступає на один з підсилювачів, виконаних на VT8, VT9. Навантаженням підсилювачів імпульсів є первинні обмотки імпульсних трансформаторів Tr2 і Tr3. Трансформатори служать для потенційного розділення головних кіл і кіл системи керування. З повторних обмоток трансформаторів управляючі імпульси подаються на перехід «управляючий електрод – катод тиристорів».

На рисунку 3.5,г приведено діаграму випрямленої напруги перетворювача. Заштриховані частини напівперіодів відповідають включеному

стану тиристорів. Напівперіоди I і II виходять при куті управління  $\alpha_1$ . Із збільшенням сигналу на виході регулятора швидкості збільшиться струм заряду C10. Тому пилоподібна напруга досягне величини напруги включення  $U_{вкл}$  VT5 за менший проміжок часу. Кут керування тиристорами також зменшиться і стане рівним  $\alpha_2$ . Час включеного стану тиристорів, а отже, і величина випрямленої напруги перетворювача збільшаться. На діаграмі випрямленої напруги напівперіоди III і IV відповідають куту керування  $\alpha_2$ .

Джерело живлення системи керування підключене до клем Н2, 021 вторинної обмотки Тр1. Первинна обмотка Тр1 підключена до мережі через фазозсувне коло R1, C1, необхідне для зменшення впливу нелінійних спотворень мережі на роботу СІФУ.

Живлення регулятора і СІФУ здійснюється стабілізованою двуполярною напругою, яка щодо загальної точки схеми (контрольна точка 12) має величину  $\pm 15\text{В}$ , а контрольна точка 23 – потенціал  $-15\text{В}$ . Відповідний вузол зібраний на стабілітронах VD6, VD7, VD10, VD11, конденсаторах C8, C9 і резисторі R27.

Джерелом напруги для задаючого потенціометра R28 служить стабілітрон VD10. Щодо точки 12 напруга джерела має потенціал  $-10\text{В}$ . Резистор R28 системи управління, включений послідовно із задаючим потенціометром R28, обмежує максимальну величину струму завдання, тобто обмежує максимальну швидкість двигуна.

Підсилювачі імпульсів VT8 і VT9 живляться нестабілізованою напругою  $+5\text{В}$ ,  $-15\text{В}$ . Відповідні джерела зібрані на елементах VD15, VD16, C13 і VD13, VD14, VD18, C14.

Джерело напруги для обмотки збудження виконано стабілізованим і забезпечує зміну напруги на навантаженні не більше  $\pm 2\%$  при коливаннях напруги мережі в межах  $-15\% \div +10\%$  номінального значення.

Силовa частина IBM (рис. 5.2) виконана на однофазній мостовій схемі на тиристорі VS13 і діодах VD27... VD29.



Система імпульсно-фазового управління для VS13 включена паралельно переходу «катод – керований електрод тиристора». Принцип її дії аналогічний розглянутому вище: конденсатор C18 заряджає до напруги включення порогового елемента – одноперехідного транзистора VT12 з подальшим розрядом через резистор R50 на управляючий перехід VS13. Рівень спрацьовування VT12 визначається величиною напруги на базі 2, яка подається із стабілізованого джерела на резисторах R47, R48 і стабілітронах VD25, VD26.

Змінюючи струм заряду C18, можна регулювати кут керування VS13. Величина струму заряду C18 визначається струмом колектора VT10. У свою чергу, керування струмом колектора VT10 здійснюється за допомогою транзистора VT11. Резистор R40 виконаний змінним і вибирається так, щоб напруга на обмотці збудження була рівною номінальному.

Стабілізація напруги забезпечується завдяки наявності зворотного зв'язку за напругою перетворювача, яку виконано на елементах R41, R51, C17.

## **ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. В процесі підготовки до проведення лабораторної роботи вивчити принципову електричну схему установки. За її допомогою вивчити склад і принцип дії пристрою БУ 3509, режими роботи і характеристики М1.
2. На початку лабораторної роботи з'ясувати розташування елементів головного кола, кіл керування і елементів вимірювальної частини установки. Рукоятки автоматичних вимикачів QF1, QF2 повинні знаходитися в положенні «0», задаючий потенціометр R28 – в крайньому лівому положенні.
3. Відповідно до принципової схеми установки на мал.6 перевірити правильність підключення зовнішніх кіл до клемної колодки Ш1 БУ 3509.
4. Перевірити напруги джерел живлення і справність СІФУ. Для цього при відключеному вимикачі QF1 видалити плавкі вставки запобіжників Пр1,

Пр2, Пр3. Плату системи керування за допомогою подовжувача розташувати на столі лабораторної установки.

Потім включити QF1 і магнітний пускач KM1 і на контрольних точках плати системи керування виміряти напруги джерел живлення. Напруга в точці 21 за відношенням до точки 12 повинна бути позитивною і рівною +15В. При цьому обидві напруги не повинні відрізнятися від номінальних значень на +10% і -25%.

Напруга на контрольних точках 23, 24 повинна бути рівною +15В і не відрізнятися від номінального значення на +30% і -10%. Для перевірки справності СІФУ за допомогою електронного осцилографа перевірити наявність керуючих імпульсів тиристорів VS1, VS2. Осцилограф підключають до точок 23, 25 і 23, 26 при середньому положенні движка задаючого потенціометра R28.

5. Після закінчення цих перевірок відключити QF1, встановити плавкі вставки Пр1, Пр2, Пр3 і плату системи управління на БУ 3509. Відключити якірне коло М1 від виходу перетворювача. Для цього від контакту 3 або 7 клемної колодки Ш1 необхідно від'єднати зовнішній провідник. Потім включити QF1 і KM1 і зміряти напругу на обмотці збудження М1. Підбором резистора R40 добитися значення напруги, що вимагається.

6. Для установки вимагається струмообмеження відключити від джерела напруги обмотку збудження М1. Для цього від контакту 8 або 9 клемної колодки Ш1 необхідно від'єднати зовнішній провідник. За допомогою резистора R20 на платі системи управління встановити мінімально можливу величину напруги, замикаючої VT1. Для цього перевести R20 в крайнє праве положення. Задаючий потенціометр R28 перевести в крайнє ліве положення. Включити QF1 і KM1. Потенціометр R28 перевести в середнє положення. За допомогою R20 збільшувати напругу, замикаюче VT1, і, контролюючи по амперметру PA1 величину якірного струму М1, встановити його рівним номінальному. Перевести R28 в крайнє ліве положення, відключити QF1 і

підключити обмотку збудження до джерела напруги, підключивши зовнішні провідники до контактів Ш1.

7. Провести регулювання системи управління при включенні всього пристрою в цілому. Для цього включити QF1 і KM1 і за допомогою R28 задати мінімальну швидкість обертання M1. За наявності автоколивань встановити перемичку між контрольними точками 6-7 на платі керування. Тим самим резистори R7, R8 виявляться включеними паралельно, що змінить параметри корегуючого гнучкого зворотного зв'язку за струмом. Окрім цього, усунення автоколивань можливе за допомогою зміни параметрів зворотного зв'язку, що охоплює регулятор швидкості. Для пристрою БУ 3509 з номінальним струмом 25А опір резистора R16 може змінюватися від 10 до 120кОм, а ємність конденсатора C4 – від 0,47 до 1,5мкФ.

8. Зняти електромеханічні характеристики двигуна при різних значеннях сигналу завдання. Для цього підключити до якоря генератора реостат навантаження R32 і повністю ввести його. Збільшуючи сигнал завдання, встановити за вольтметром PV1 напругу на якорі M рівною 220В. Зафіксувати свідчення амперметра PA1 і вольтметра PV2. Включити QF2 і знов зафіксувати покази PA1 і PV2. Зменшуючи опір реостата навантаження R32 і, збільшуючи якірний струм M до 15А, заміряти струм і швидкість M ще в 3-4 точках. Після завершення досліду рукоятку R32 перевести в початкове положення і вимкнути QF2.

Повторити досліди при напрузі на якорі M, рівній 100В і 50В.

9. Після закінчення лабораторної роботи перевести R28 в крайнє ліве положення, відключити QF1 і QF2.

### **ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. На підставі отриманих експериментальних даних побудувати електромеханічні характеристики електроприводу.
2. Визначити діапазон регулювання швидкості електроприводу і розглянути можливості його розширення.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Поясніть пристрій і принцип дії двигуна постійного струму з незалежним збудженням.
2. Назвіть способи регулювання швидкості двигуна постійного струму з незалежним збудженням.
3. Поясніть пристрій і принцип дії силової частини БУ 3509.
4. Поясніть пристрій і принцип дії СІФУ.
5. Поясніть роботу розімкненої системи П-Д.
6. Поясніть роботу замкнутої системи П-Д з головним зворотним зв'язком за швидкістю і статичним регулятором швидкості.
7. Поясніть принцип дії астатичного регулятора швидкості.
8. Поясніть призначення і принцип дії гнучкого зворотного зв'язку за струмом якоря.
9. Поясніть призначення і принцип дії струмового відсічення.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА СИСТЕМОЮ «РЕВЕРСИВНИЙ ТИРИСТОРНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ – ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»**

**МЕТА РОБОТИ:** вивчення принципу дії реверсивного тиристорного електропривода (ТЕП) та методів його налагодження.

### **ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Реверсивний ТЕП може працювати в рушійному і гальмівному режимах. У рушійному режимі ТЕП перетворює електроенергію у механічну роботу, наприклад, для підйому вантажу. Гальмівний режим, наприклад, при опусканні вантажу характеризується перетворенням механічної енергії в електричну і реалізується способами противмикання або рекуперативному.

У режимі противмикання електропривод при опусканні вантажу споживає електроенергію із мережі і тиристорний перетворювач працює у режимі випрямляча.

У рекуперативному режимі електропривод перетворює механічну енергію вантажу, що опускається, в електроенергію і віддає її в мережу. Тиристорний перетворювач працює в режимі інвертора.

### **ПРОГРАМА РОБОТИ**

Налагодження уставки обмеження струму якоря двигуна.

Налагодження оптимальних перехідних процесів за струмом якоря при пусках і зняття осцилограм перехідних процесів.

Визначення точності стабілізації швидкості при зміні навантаження.

Побудувати електромеханічні характеристики електропривода в рушійному, рекуперативному і противмикання режимах.

## ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема установки зображена на рисунку 3.6 містить в собі два реверсивних тиристорних електропривода: перший, серії ЕПУ2-2 – досліджуваний, другий, серії БУ3609 – для створення навантаження першому.

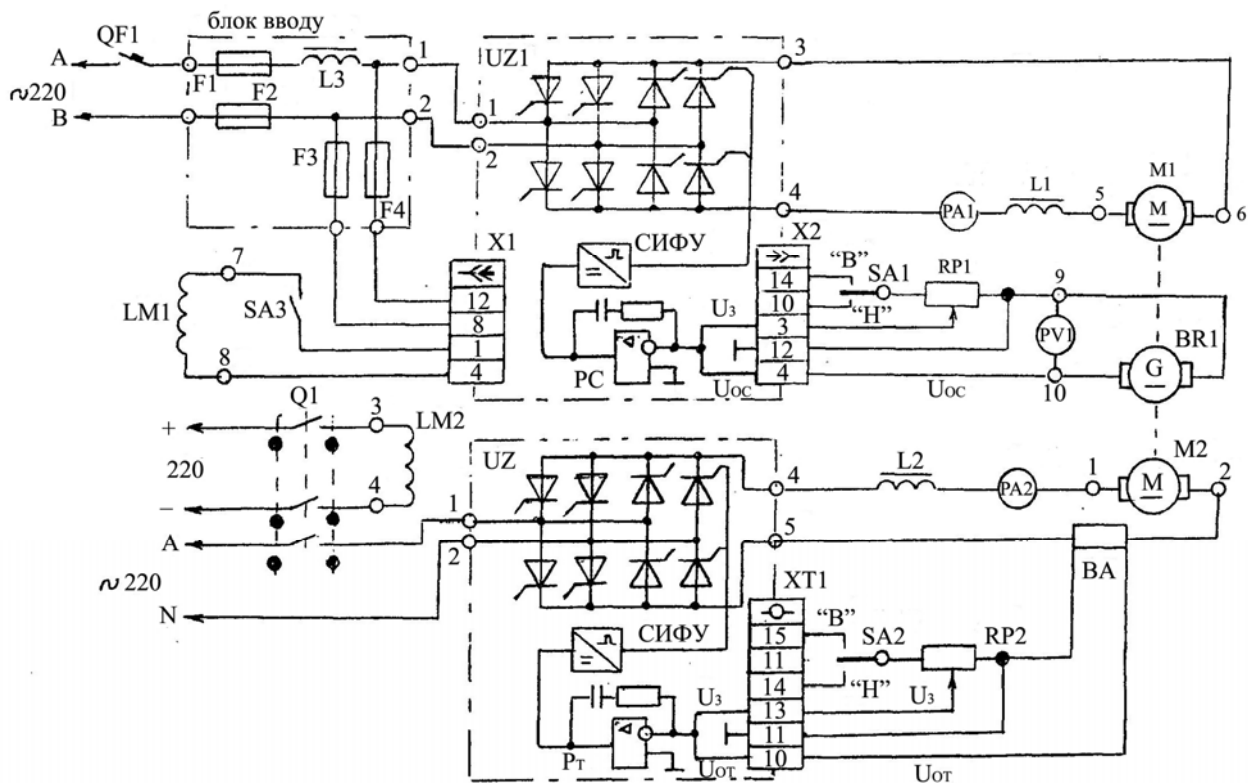


Рисунок 3.6 – Схема експериментальної установки

В електропривод ЕПУ2-2 входить блок вводу, блок реверсивного тиристорного випрямляча UZ1, двигун M1 з дроселем L1 і амперметром PA1, тумблер SA1 вибору напрямку обертання, задавач RP1 швидкості, тахогенератор BR1 і вольтметр PV1 для вимірювання швидкості. Ціна поділки тахогенератора  $1B=10$  об./хв.

В електропривод БУ3609 входить блок реверсивного тиристорного випрямляча UZ2, працюючого в режимі джерела струму, двигун M2, працюючий в режимі джерела моменту, тумблер SA2 для зміни напрямку струму і, отже, моменту, задавач RP2 струму навантаження.

Принципова схема регулятора швидкості подана на рисунку 3.7.

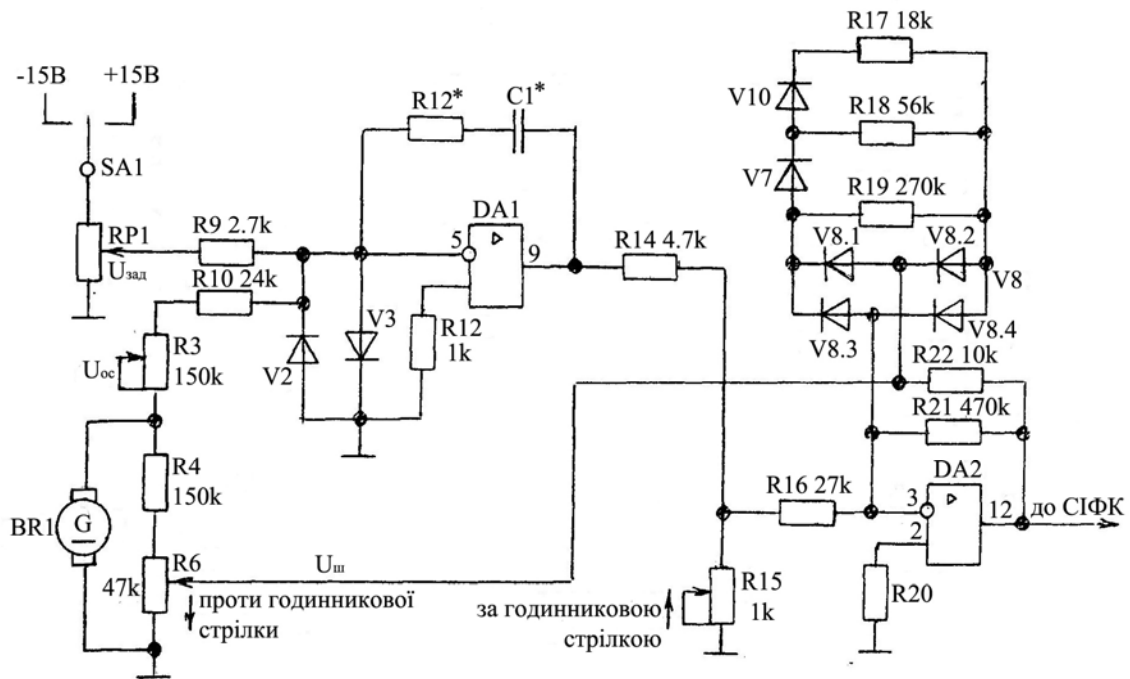


Рисунок 3.7 – Принципова схема регулятора швидкості

Стабілізацію швидкості забезпечує підсилювач DA1 із зворотнім зв'язком R12C1.

Регулювання уставки обмеження струму якоря забезпечує резистор R15. Оптимальний перехідний процес за струмом якоря, тобто розгін електропривода до заданої швидкості з максимально допустимим струмом якоря забезпечує підсилювач DA2 з нелінійним зворотнім зв'язком R18, R19, R22, V6-V8.

У процесі пуску Ш - регулятор на DA1 знаходиться в стані насичення. Його вихідна напруга, що є напругою керування для системи імпульсно-фазового керування тиристорами, постійна за величиною і обмежена резистором R15. При цьому обмежена і напруга  $U_{\text{я}}$  на якорі, що забезпечує обмеження пускового струму. В процесі пуску зростає проти-ЕРС якоря  $E$ , струм зменшується  $I_{\text{я}} = (U_{\text{я}} - E) / R_{\text{я}}$  і зростає тривалість перехідного процесу за швидкістю. Тому необхідно компенсувати вплив проти-ЕРС і забезпечити

постійне значення струму в процесі розгону. Таким чином, регулятор швидкості повинен мати змінний коефіцієнт підсилення, що зростає у функції швидкості. Зростання  $K_{DA2}$  відбувається таким чином. Напруги з R6 і з R22 протилежного знаку. В момент пуску напруга з R22 "пробиває" діоди V6-V8 і  $K_{DA2}=(R22+R17)/R16$ . З ростом швидкості до діодів прикладається менша напруга  $U_{DA2}-U_{ш}$  і не може "пробити" всіх діодів. Спочатку закривається V6 і  $K_{DA2}=R18/R10=2$ , потім закривається V7 і  $K_{DA2}=R19/R10=10$  і далі закривається V8  $K_{DA2}=R21/R27=18$ .

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Знайти па лабораторному стенді всі елементи схеми, початкове положення яких таке:

- вимикачі QF1, Q1 вимкнені;
- тумблери SA1, SA2 у середньому положенні;
- потенціометри RP1, RP2 повернуті проти годинникової стрілки до упору;
- осі резисторів R5 і R15, розташованих на платі керування, повернути до упору відповідно проти- і за годинниковою стрілкою.

2. Налаштування уставки струмообмеження якоря.

2.1 Тумблери SA1, SA2 поставити в положення відповідно "Н" і "Вимкнено", вісь резистора RP1 повернути за годинниковою стрілкою до упору.

2.2 Ввімкнути вимикач QF1. Плавнo повертаючи вісь резистора R15 проти годинникової стрілки встановити за амперметром PA1 струм 6А. Перевести SA1 в положення "В" і записати отримане значення струму. Вимкнути QF1.

3. Налаштування оптимальної діаграми струму при пусках електропривода.

3.1 Ввімкнути осцилограф і з'єднати його вхід паралельно амперметру PA1. Встановити режим роботи осцилографа: вхідний подільник напруги поставити в положення 0,01В/см.



3.2 Ввімкнути QF1. У момент появи променя на екрані осцилографа ввімкнути тумблер SA1 в положення "В", спостерігаючи при цьому осцилограму струму, яка має форму трапеції, тому що в процесі розвинення швидкості двигуна струм зменшується. Намалювати отриману осцилограму. При необхідності дослід повторити. Вимкнути SA1 і повернути вісь резистора K6 за годинниковою стрілкою на 10-20°, ввімкнути SA1 і повторювати дослід, поки осцилограма струму матиме форму, близьку до прямокутника. Вимкнути QF1.

#### 4. Зняття електромеханічних характеристик.

4.1 Ввімкнути вимикачі QF1 і QF2. Поставити тумблери SA1 в положення "Н", а SA2- "В", резистором RP1 встановити швидкість, задану викладачем. Обертаючи резистор RP2 до упору, встановлювати за амперметром значення струму з кроком 1А, записуючи при цьому відповідні значення швидкості, в тому числі після переходу електропривода в режим противмикання.

4.2 Повернути вісь RP2 в початкове положення і перевести тумблер SA2 в положення "В". Повертати вісь RP2 за годинниковою стрілкою до моменту, коли струм за амперметром PA1 дорівнює нулю. Записати значення швидкості при цьому, далі повернути вісь RP2 за годинниковою стрілкою до упору і записати при цьому значення швидкості. Вимкнути QF1, Q1.

Встановити максимальну швидкість електропривода і провести аналогічні дослід.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають рушійним режимом електропривода? рекуперативним? противмикання?
2. Як регулюється уставка струмообмеження?
3. Чому при розгоні двигуна його струм зменшується?
4. Як визначається точність стабілізації швидкості?
5. Якого типу регулятор швидкості використаний в електроприводі?
6. Назвіть, способи реверсування двигуна постійного струму?

## "КОМУТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ"

**МЕТА РОБОТИ:** Проведення комутаційних випробувань тягового двигуна із визначенням його області безіскрової роботи (ОБР) та її аналізом.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Комутація струму машини постійного струму є чи не найголовнішою проблемою для цього класу машин і полягає в зміні напрямку струму у секціях обмотки якоря при їхньому замиканні щіткою. Комутація триває дуже малий проміжок часу (мілісекунди, або навіть долі мілісекунди) і супроводжується візуальним іскроутворенням під щітками.

Причиною виникнення іскор є незкомутувана електромагнітна енергія у секціях при розмиканні щіткою комутуючого контуру. За процесом зміни енергії у комутуючих секціях відповідають додаткові полюси машини. Останні забезпечують у комутуючих секціях наявність комутуючої ЕРС, яка змушує струм секції змінюватися за досить короткий період комутації, що також еквівалентне до відбору енергії секцій додатковими полюсами за час комутації.

Розрахункова оцінка комутації полягає у визначенні умовної ЕРС самоіндукції секції при лінійній зміні її струму за період комутації у необхідному діапазоні (подвійний струм паралельної гілки якорю). Цю величину називають реактивною ЕРС секції.

Таким чином, при аналізі процесу комутації вважають, що у комутуючій секції діють дві зустрічні ЕРС – реактивна в результаті зміни струму та комутуюча, забезпечувана дією додаткових полюсів. Баланс цих ЕРС забезпечує добру комутацію без іскроутворення, порушення цього балансу в той чи інший бік призводить до уповільненої ( $e_r > e_k$ ), або прискореної ( $e_r < e_k$ ) комутації.

Візуально якість комутації оцінюється за допомогою бальної шкали, обумовленою ГОСТ 183-74. Небезпека комутаційних порушень полягає в пошкодженнях щітково-колекторного апарату, яке спричиняє іскріння щіток.

Ступінь іскріння в 1 бал: – повна відсутність іскор (темна комутація);

Ступінь іскріння в  $1^{1/4}$  бал: – слабе точкове іскріння під обмеженою поверхнею щітки;

Ступінь іскріння в  $1^{1/2}$  бал: – іскріння під більшою частиною щітки, але не сильне;

Ступінь іскріння в 2 бали: – інтенсивне іскріння під усією поверхнею щітки із початком її руйнації. Випробування при іскріння у 2 бали обмежені за часом, це іскріння буває при робочому перевантаженні, допускається як короткочасне. Подальший розлад комутації із посиленням іскріння більш ніж 2 бали є небезпечним і не допускається.

Візуальна оцінка комутації, хоча вона і закріплена ГОСТ, але є досить суб'єктивною і не дає інформації про сам характер комутації, що спричинив іскріння. Тому на практиці використовують у якості основного метод зняття області безіскрової роботи (ОБР). Цей метод полягає у спостереженні за появою іскор під щіткою (її скошеним краєм) при штучному порушенні балансу ЕРС за рахунок живлення додаткових полюсів струмом від додаткового джерела (підсилюючи або послаблюючи останні). При проведенні досліду фіксують параметри (струм підживлення чи ослаблення) при якому з'являється перше іскроутворення (ступінь комутації у  $1^{1/4}$  балів). Випробування проводиться для умов певного режиму (частоти обертання та навантаження). За результатами цього дослідження можна не тільки зробити висновок про характер комутації, але і розрахувати умови її налагодження (коригування повітряного зазору під додатковими полюсами). Це ілюструє приклад знятої ОБР на рисунку та емпірична формула Касьянова корекції повітряного зазору полюсів.

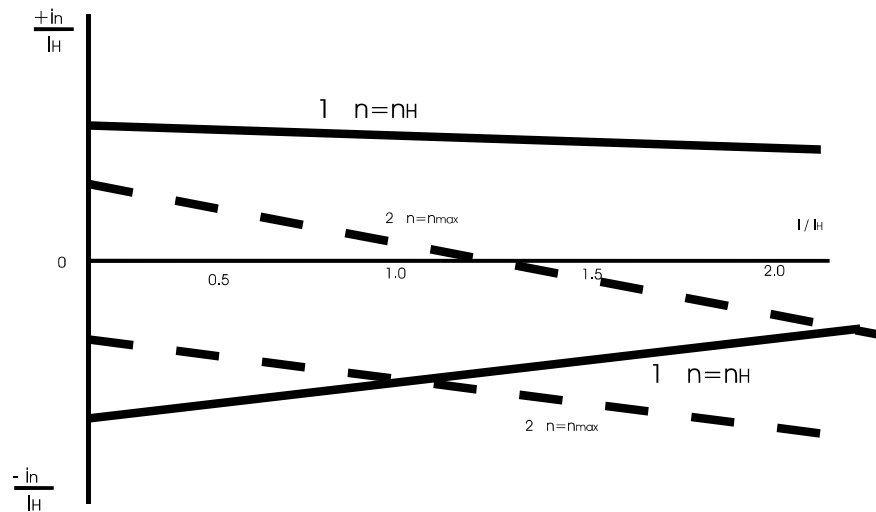


Рисунок 3.8 – Вигляд областей іскрової роботи (ОБР)

$$\delta_{\text{вно}} = \frac{\delta_{\text{всста}}}{1 \pm \frac{\theta}{\theta - 1} \cdot \frac{\Delta i_n}{I}}$$

де  $\Delta i_n$  – струм підживлення (відживлення), що відповідає середній лінії

ОБР при навантаженні  $I$ .

Слід зазначити, що перед проведенням комутаційних дослідів, треба перевірити готовність для цих випробувань двигуна. Ця перевірка полягає у контролі встановлення щіток на геометричній нейтралі, при цьому магнітні вісі якірної обмотки і додаткових полюсів співпадають із поперечною магнітною віссю машини і можна бути певним, що в комутаційній зоні немає дії від поля головних полюсів, бо вона розташована симетрично відносно поперечної вісі. Дану перевірку зазвичай роблять індукційним методом, який полягає у подачі імпульсу струму збудження і контролю відхилення (наявності ЕРС) на комутуючій (замкненій накоротко щіткою) секції. Цей контроль проводиться за допомогою гальванометра із нулем посередині, гальванометр має бути магнітоелектричної системи. Відхилення стрілки приладу в той чи інший бік означає зміщення щіткової траверзи відносно геометричної нейтралі у зазначений бік і має бути скориговане.

## ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Повторити теоретичний матеріал, стосовно комутації двигунів, користуючись літературою та конспектом лекцій.
2. Ознайомитися із експериментальними методами дослідження комутації
3. Підготувати бланк звіту з проведення лабораторної роботи , використовуючи ці методичні вказівки

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Частина 1: Встановлення щіток на геометричну нейтраль.

Схема досліду приведена на рисунку 3.9.

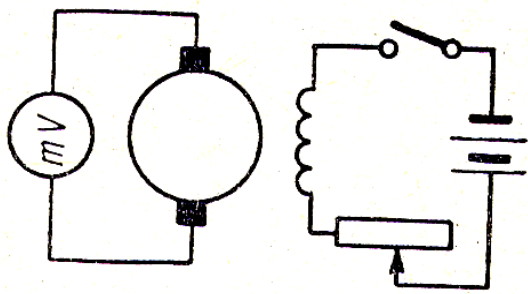


Рисунок 3.9 – Схема встановлення щіток на геометричну нейтраль

1. За допомогою стороннього джерела (акумуляторна батарея) подати живлення на обмотку збудження двигуна. Двигун має бути нерухомим і на якірне коло його живлення не подається.
2. До двох сусідніх щіток, знявши захисну кришку з колектора, під'єднати мілівольтметр з нулем посередині.
3. Шляхом замикання та розмикання кола обмотки збудження (джерела акумулятору) спостерігати за відхиленням стрілки приладу.
4. Результати спостережень занотувати до звіту.

Частина 2. Зняття області безіскрової роботи двигуна.

Схема досліду приведена на рисунках 3.10 і 3.11.

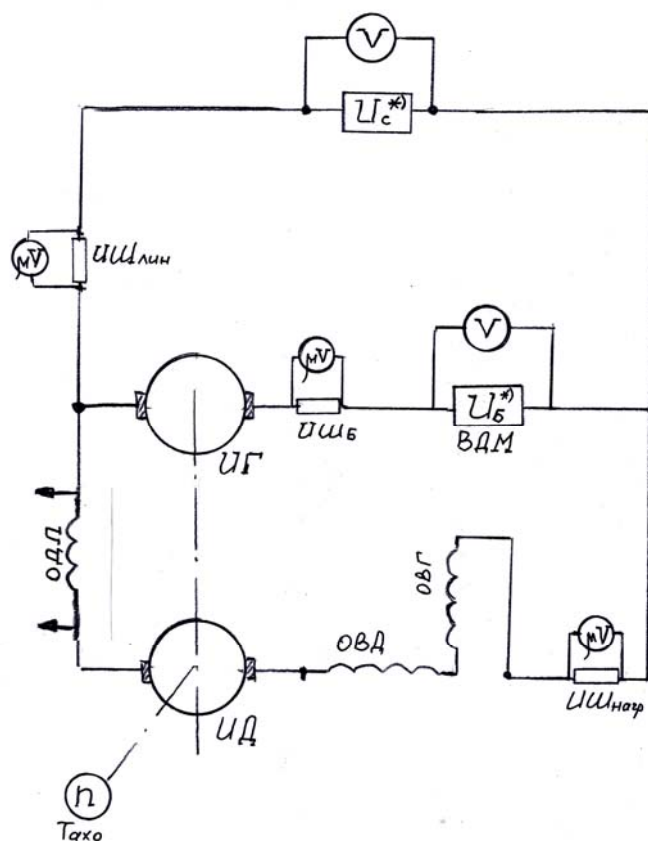


Рисунок 3.10 – Схема зняття ОБР

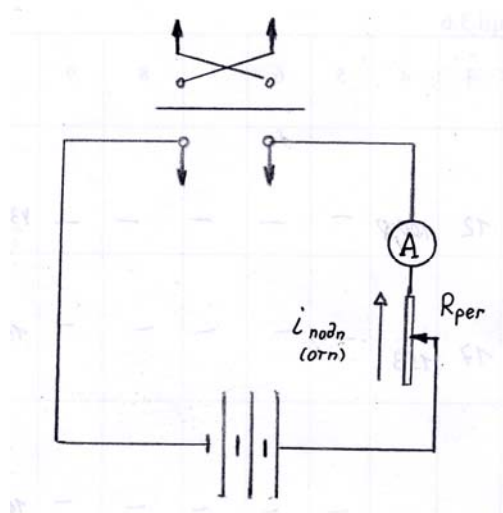


Рисунок 3.11 – Схема підживлення або ослаблення ДП

1. Разом із викладачем перевірити схему проведення випробувань (рис. 3.10) на взаємне навантаження двигунів та схеми подачі додаткового

живлення на обмотку додаткових полюсів. Живлення на обмотку додаткових полюсів достатньо подавати тільки на одну пару, що дозволяє конструкція двигуна ТЕ-022, завдяки вирівнювальним властивостям хвильової обмотки якоря.

2. Задати робочий режим згідно зі схемою рисунку 3.( частоти обертання та струму навантаження)

3. При заданому робочому режимі провести досліди підживлення та ослаблення додаткових полюсів згідно зі схемою рисунку 4. При проведенні дослідів фіксувати появу іскор під скошеним краєм щітки. Значення струму навантаження і струмів підпитки та відбитки ДП нанести на заготовку для ОБР, подібну до рисунку 3.11.

2.4 Змінюючи струм навантаження, але підтримуючі частоту обертання регулюванням джерел схеми рисунок 3.10, повторити дослід п. 2.3.

### ЗМІСТ ЗВІТУ

1. За першою частиною роботи описати методику перевірки встановлення щіток на геометричну нейтраль та зробити висновки щодо положення щіток на нейтралі.

2. За другою частиною роботи оформити на аркуші міліметрівки зняту область безіскрової роботи (ОБР).

3. Зробити висновок про характер комутації за даними ОБР.

4. Для найбільшого значення струму навантаження за допомогою формули Касьянова зробити корекцію повітряного зазору під додатковими полюсами. Для двигуна ТЕ-022 параметр  $\theta = \frac{F_{\partial n}}{F_a} = 1.16$ , повітряний зазор під ДП

$$\delta_{\text{всстм}} = 4.5 \text{ мм}.$$

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як поведуть себе ОБР при регулюванні швидкості?
2. Назвіть головні причини розбіжності ОБР при регулюванні швидкості.
3. Що таке комутаційна реакція якоря?
4. Як потрібно було б зміщувати щіткову траверзу для режиму двигуна для створення поля потрібного напрямку у зоні комутації при відсутності або недостатній дії ДП?
5. Які допустимі величини реактивної ЕРС?
6. Що таке небалансна ЕРС, та які її граничні значення?
7. Які головні причини розладу комутації у стаціонарних режимах роботи?
8. Які головні причини розладу комутації у перехідних режимах роботи?



## "СТЕНДОВІ ВИПРОБОВУВАННЯ ТЯГОВОГО ДВИГУНА"

**МЕТА РОБОТИ:** дослідження властивостей та характеристик двигуна з послідовним збудженням у режимах тяги на схемі на взаємне навантаження. Ознайомлення із програмою випробувань двигунів.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Під взаємним навантаженням розуміють роботу двох електричних машин, з'єднаних електрично і механічно, таким чином, що одна навантажується у режимі двигуна, а друга – у режимі генератора.

Схеми взаємного навантаження є основними схемами для виробничих випробувань двигунів. Досить просту реалізацію мають схеми випробувань двигунів із незалежним збудженням, їхні якоря паралельно підключаються до джерела живлення (мережі), а регулюючи збудження цих машин в схемі здійснюється їхнє навантаження.

Вочевидь, що головною перевагою взаємного навантаження залишається економічність схеми при випробуваннях, бо із мережі споживається лише потужність на покриття втрат у обох машинах, тоді як імітація робочого режиму відбувається безвитратно.

Випробування потужних машин часто проводяться у так званих другорядних режимах – режимі холостого ходу та режимі короткого замикання. Перший режим дає уявлення про стан магнітного кола випробуваного двигуна, а другий відповідно про стан електричного кола та його навантаження. Однак таке рішення неможливе для двигунів послідовного збудження, бо вже режим холостого ходу у цих машин не може бути реалізований.



Подана схема дозволяє проводити в повному об'ємі програму випробувань згідно до ГОСТ 183-74.

### **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. Виміри опору ізоляції між корпусом та між обмотками;
2. Виміри опорів обмоток у практично холодному стані на постійному струмі;
3. Випробування на підвищеній частоті обертання;
4. Повторне випробування ізоляції обмоток;
5. Випробування міжвиткової ізоляції на електричну міцність;
6. Визначення токів збудження в режимі холостого ходу;
7. Перевірка номінальних даних машини (моторної точки);
8. Перевірка комутації при номінальному навантаженні та при робочому перевантаженні;
9. Визначення характеристики намагнічування;
10. Визначення робочої (швидкісної) характеристики;
11. Визначення регульовочної характеристики;
12. Випробування на нагрівання;
13. Визначення областей безіскрової роботи та визначення якості комутації;
14. Визначення втрат та ККД;
15. Виміри вібрації;
16. Виміри биття колектору;
17. Виміри радіозавад.

Серед перелічених вимірів в першу чергу проводять виміри ізоляції за допомогою мегомметра.

Виміри опорів обмоток визначаються їхніми малими значеннями. На опір обмоток збудження та полюсів можуть впливати похибки за рахунок болтових та решти з'єднань, їхньої якості. А от опір обмотки якоря дуже важливий для визначення якості всієї машини слід визначати дуже ретельно. Стан з'єднань на нього впливає незначною мірою.

Виміри опору обмотки якоря проводяться звичайно методом вольтметра-амперметра, для підвищення точності цих вимірів проводиться дослід тричі для різних значень струмів. Значення струму повинні бути значними, вважаючи на малість вимірювального опору. Часто виміри проводяться також методом подвійного мосту (мосту Томсона), використовуючи батареї вимірювальних опорів.

При вимірюванні опору за методом вольтметра-амперметра значення вимірюваного опору визначається за законом Ома

$$r_u = \frac{U}{I},$$

Вимірювання опору простих хвильових обмоток регламентується ГОСТ 10159-83 і вимагає проводити виміри опорів між колекторними пластинами, які відстоять на  $\frac{K}{2p}$  колекторних пластин. Виміри відбуваються при піднятих щітках за допомогою щупів-голок. Значення розрахункового опору визначається для хвильових простих обмоток за формулою

$$r = r_u \times \frac{\left(\frac{K}{p}\right)^2}{\left(\frac{K}{p}\right)^2 - 1}.$$

Повторити теоретичний матеріал, стосовно двигунів послідовного збудження, користуючись літературою та конспектом лекцій.

Ознайомитись із схемою взаємного навантаження тягових двигунів.

Ознайомитися із розрахунковими даними стендових двигунів ТЕ-022.

Підготувати бланк звіту з проведення лабораторної роботи, використовуючи ці методичні вказівки.

## ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Провести на випробовуваній машині виміри опору обмотки якоря, методом, описаним у теоретичній частині роботи.
2. Під керівництвом викладача (лаборанта) здійснити запуск схеми (двигунів на взаємне навантаження).
3. Встановити певний рівень напруги живлення від мережі ( $U_c$ ).
4. Змінюючи напругу бустера (ВДМ) зняти не менше чотирьох точок, при цьому напругу мережі слід підтримувати за первинному рівні (підрегульовувати).
5. Дані занести у бланк:

Напруга мережі:  $U_c =$

Струм лінії, А	Струм бустера, А	Струм навантаження, А	Напруга бустера, В	Частота обертання, об/в	Напруга на затискувачах двигуна, В

Обробка результатів.

1. За методом вольтметра-амперметра та формулою:

$$r = r_u \times \frac{\left(\frac{K}{p}\right)^2}{\left(\frac{K}{p}\right)^2 - 1},$$

визначити значення опору обмотки якоря у холодному стані.

2. Зважаючи на значення температури навколишнього середовища привести значення опору до температури 15°C, користуючись температурною залежністю для міді

$$r_t = r_{15}(1 + 0.004(t - 15))$$

де  $t$  – значення температури повітря.

Порівняти одержане значення опору із розрахунковим для двигуна ТЕ-022, яке складає 0,054 Ом.

3. Безпосередньо на підставі даних експерименту побудувати на аркуші міліметрівки штучну електромеханічну (швидкісну) характеристики двигуна ТЕ-022 для значення напруги мережі у проведеному досліді.

4. Ознайомтеся зі схемою приглушення радіозавад для трамвайних двигунів та опишіть її у звіті.

### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. На яке значення вимірювальної напруги проводиться випробовування ізоляції відносно корпусу? Якою напругою?
2. Які допустимі значення опору ізоляції відносно корпусу для експлуатації тягових двигунів (міського електротранспорту, залізничних, тощо)?
3. Які властивості якірної хвильової обмотки? Чому для двигунів з послідовним збудженням неможливо запровадити випробування у другорядних режимах (холостого ходу та короткого замикання)?
4. Що є головним джерелом радіозавад? Як їх приглушують?
5. Яку температуру можна визначити методом вольтметра-амперметр?
6. Яким чином визначають момент інерції двигуна (махову масу)?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Єфремов І.С., Косарев Г.В. Теория и расчет троллейбусов (электрическое оборудование). Ч.2: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1981. – 248 с., ил.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. Я.И. Гаврилов, В.А. Мнацаканов «Вагоны метро с импульсными преобразователями». «Транспорт», М.: – 1986 г.
4. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. – Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004. – 404 с.
5. Максимов А.Н. Городской электротранспорт: троллейбус. Учебник для нач. проф. образования / А.Н. Максимов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 256 с.
6. Добровольская Э.М. Электropоезда метрополитена: Учебник для нач. проф. образования. – М.: ИРПО: М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 320 с.
7. Преобразовательная тех. в электроприводе и электрическом транспорте: Тематический сб./ ред.: И.С. Ефремов. и В.А. Лабунцов. – М. 1980 – 140с. Ил. – /труды / мош. Энергетич. ин-т.
8. Ю.С. Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев. Метрополитены. Ученик для вузов / Под ред. Ю.С. Фролова. – М.: «Желдориздат», 2001. – 528 с.
9. Я.В. Григорьевич. Автоматический расчет тиристорных схем. Х: Вища школа. При ХГУ. 1986. – 159 с.

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

**ТЕОРІЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ  
РУХОМОГО СКЛАДУ**

*(для студентів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт)*

Укладач: **ДОНЕЦЬ** Олександр Вадимович

Відповідальний за випуск: к.т.н. доц. *О. В. Донець*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 169 М

---

Підп. до друку 13.05.2011

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 2,2

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014р.